

Cours d'optique physique (ou optique ondulatoire)

Pr. Ech-chamikh

Bibliographie

Brebec, Optique ondulatoire, cours et exercices (Hprépa)

Dévoré, Optique II, cours

Lecardennal, exercices

Faget, exercices

André Mousa, Optique II

Lumbroso, Exercices

Ech-chamikh, Optique 2, cours et exercices

Présentation du cours

Demi-module Optique physique :

- **Généralités sur les ondes lumineuses**
- **Phénomènes d'interférences lumineuses**
- **Phénomènes de diffraction de la lumière**
- **Notion de polarisation de la lumière**

Optique géométrique :

**Lumière = ensemble de rayons lumineux
(aspect géométrique)**

Optique physique (ou ondulatoire) :

**Lumière = Ondes électromagnétiques
(aspect ondulatoire)**

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ONDES LUMINEUSES

Interférences lumineuses :

Superposition de faisceaux lumineux



éclairage variable sur l'écran d'observation

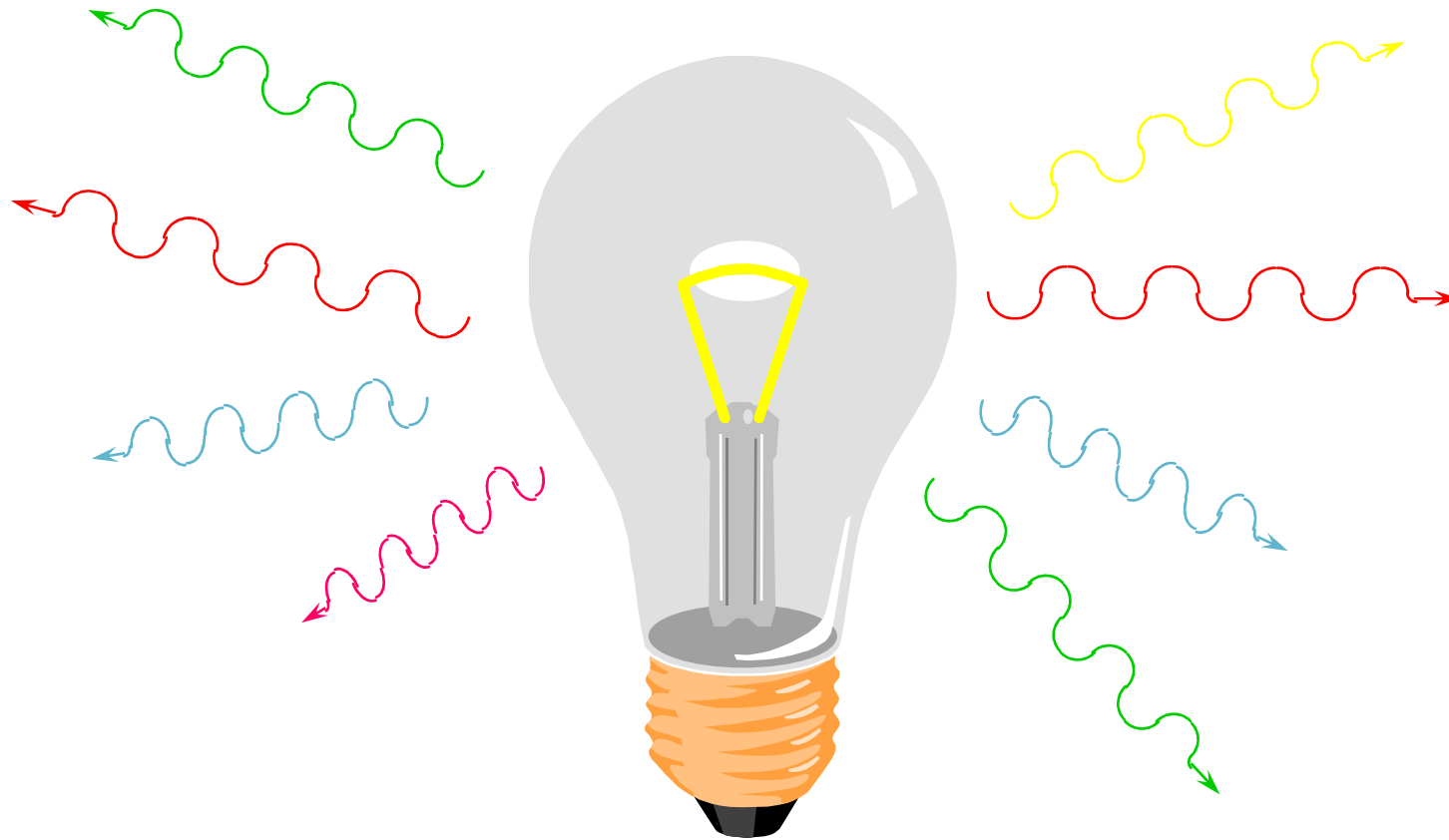
diffraction de la lumière :

Interception de la lumière par un petit objet



éclairage variable sur l'écran d'observation

Explication : Aspect ondulatoire de la lumière (la lumière est une onde électromagnétique : vibration sinusoïdale qui se déplace à la vitesse c dans le vide).



1. Les vibrations sinusoïdales

$$\vec{A} = a \cos(\omega t + \varphi) \vec{u}$$

Diagram illustrating the components of the sinusoidal vibration equation:

- Amplitude**: Points to the scalar a .
- Pulsation**: Points to the angular frequency ω .
- Phase à l'origine**: Points to the phase constant φ .
- Direction de vibration**: Points to the unit vector $\vec{u}$.

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Période de la vibration

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Fréquence de vibration

$$I = a^2$$

Intensité de vibration

2. Composition de vibrations sinusoïdales

$$\vec{A}_i = a_i \cos(\omega t + \varphi_i) \vec{u} \quad \text{Vibrations composantes}$$

$$\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2 + \dots + \vec{A}_N = \sum_{i=1}^N \vec{A}_i = a \cos(\omega t + \varphi) \vec{u}$$

Vibration résultante

Problème : a et φ en fonction des a_i et φ_i

2.1. Méthode directe (ou trigonométrique)

$$\vec{A} = a \cos(\omega t + \varphi) \vec{u} = \sum_{i=1}^N a_i \cos(\omega t + \varphi_i) \vec{u}$$

$$\Leftrightarrow \left(a \cos \varphi - \sum_{i=1}^N a_i \cos \varphi_i \right) \cos \omega t + \left(-a \sin \varphi + \sum_{i=1}^N a_i \sin \varphi_i \right) \sin \omega t = 0 \quad (\forall t)$$

$$\Leftrightarrow a \cos \varphi = \sum_{i=1}^N a_i \cos \varphi_i \quad (1) \quad \text{et} \quad a \sin \varphi = \sum_{i=1}^N a_i \sin \varphi_i \quad (2)$$



$$a^2 = \left(\sum_{i=1}^N a_i \sin \varphi_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N a_i \cos \varphi_i \right)^2$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \varphi_i}{\sum_{i=1}^N a_i \cos \varphi_i}$$

2.2. Représentation complexe

$$A(t) = a \cos(\omega t + \varphi) \longrightarrow \begin{cases} \bar{A}(t) = ae^{j(\omega t + \varphi)} = \bar{A}e^{j\omega t} \\ \text{ou } \bar{A} = ae^{j\varphi} \end{cases} \quad \text{Amplitude complexe}$$

$$\bar{A} = ae^{j\varphi} = \sum_{i=1}^N a_i e^{j\varphi_i} = \sum_{i=1}^N a_i (\cos \varphi_i + j \sin \varphi_i) = \sum_{i=1}^N a_i \cos \varphi_i + j \sum_{i=1}^N a_i \sin \varphi_i$$



$$a^2 = |\bar{A}|^2 = \left(\sum_{i=1}^N a_i \cos \varphi_i \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N a_i \sin \varphi_i \right)^2$$

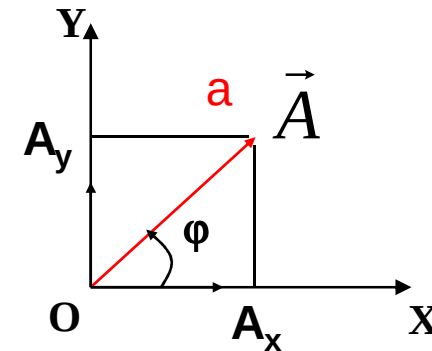
$$\varphi = \text{Arg}(\bar{A}) = \text{Arctg} \left(\frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \varphi_i}{\sum_{i=1}^N a_i \cos \varphi_i} \right)$$

Même résultat que la méthode directe

2.3. Représentation de Fresnel

$$A(t) = a \cos(\omega t + \varphi) \longrightarrow \begin{cases} \vec{A}(t) = a \cos(\omega t + \varphi) \vec{i} + a \sin(\omega t + \varphi) \vec{j} \\ \text{ou } \vec{A} = a \cos \varphi \vec{i} + a \sin \varphi \vec{j} \end{cases}$$

$$a^2 = A_x^2 + A_y^2 \quad \text{et} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{A_y}{A_x}$$



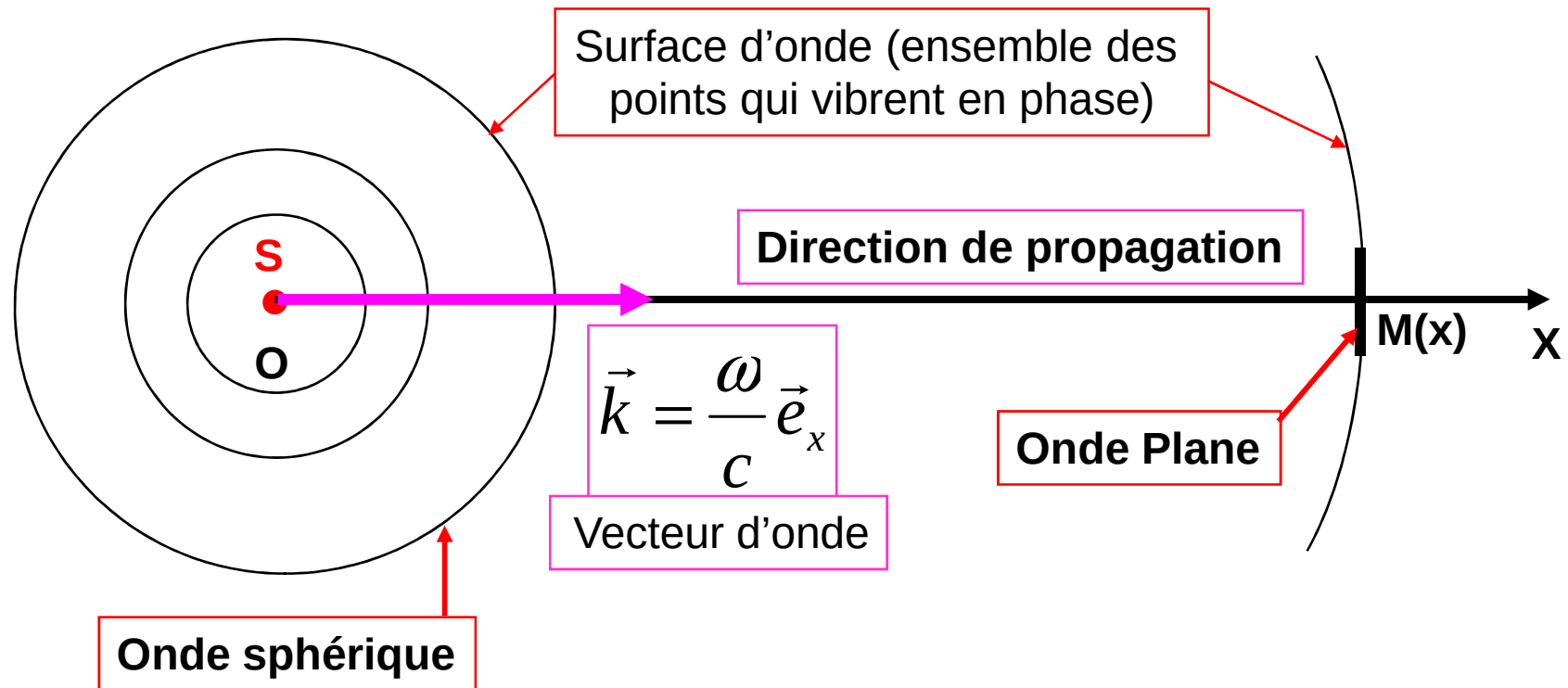
$$\begin{aligned} \vec{A} &= \sum_{i=1}^N \vec{A}_i = \sum_{i=1}^N (a_i \cos \varphi_i \vec{e}_x + a_i \sin \varphi_i \vec{e}_y) \\ &= \sum_{i=1}^N (a_i \cos \varphi_i) \vec{e}_x + \sum_{i=1}^N (a_i \sin \varphi_i) \vec{e}_y = A_x \vec{e}_x + A_y \vec{e}_y \end{aligned}$$



$$\left\{ \begin{array}{l} a^2 = A_x^2 + A_y^2 = \left(\sum_{i=1}^N (a_i \cos \varphi_i) \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N (a_i \sin \varphi_i) \right)^2 \\ \\ \operatorname{tg} \varphi = \frac{A_y}{A_x} = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i \sin \varphi_i)}{\sum_{i=1}^N (a_i \cos \varphi_i)} \end{array} \right.$$

Même résultat que les méthodes directe et complexe

3. Aspect ondulatoire de la lumière



$$\vec{E}_S = \vec{E}_O(0, t) = \vec{E}_0 \cos \omega t \quad \text{L'onde source (en O)}$$

Temps mis par l'onde pour atteindre M

$$\begin{aligned}\vec{E}_M(x,t) &= \vec{E}_0 \cos[\omega(t - t_M)] = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \omega \frac{x}{c}) \\ &= \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \varphi)\end{aligned}$$

L'onde en M(x)

Remarque : E(x,t) est solution de l'équation générale des Ondes

$$\Delta E - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$$

Période spatiale

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi c}{\omega} = cT = \frac{c}{f}$$

Vitesse de l'onde

Dans un milieu d'indice n :

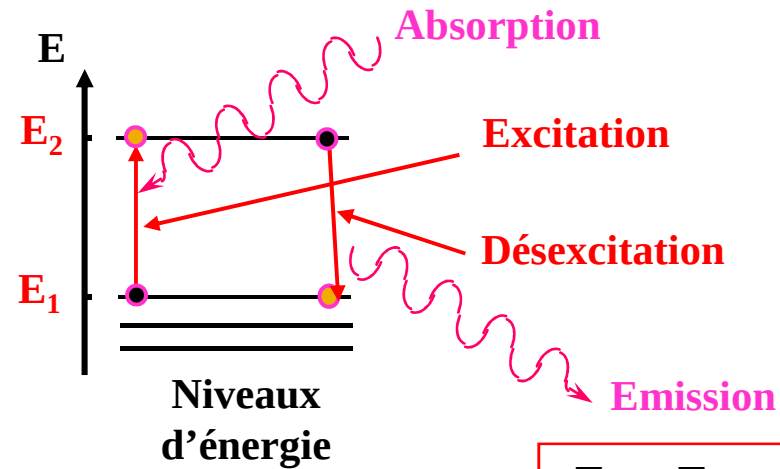
$$\varphi = \frac{\omega}{v} x = k_m x = \frac{\omega}{c} \frac{c}{v} x = knx = k(OM)$$

Déphasage par rapport à l'onde source

4. Les sources de lumière

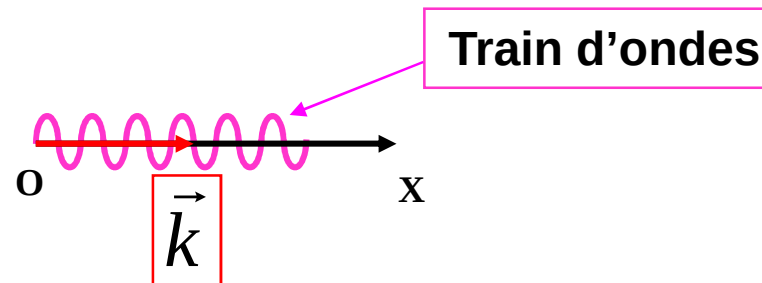
● Electron

● Lacune

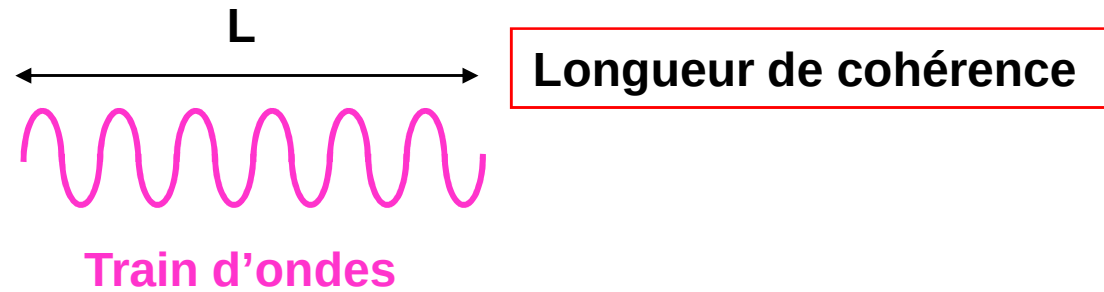


$$E_2 - E_1 = h \nu$$

$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Js est la constante de Planck



4.1. Définitions



$$\tau = \frac{L}{c}$$

Temps de cohérence

$$\Delta \nu = \frac{1}{\tau}$$

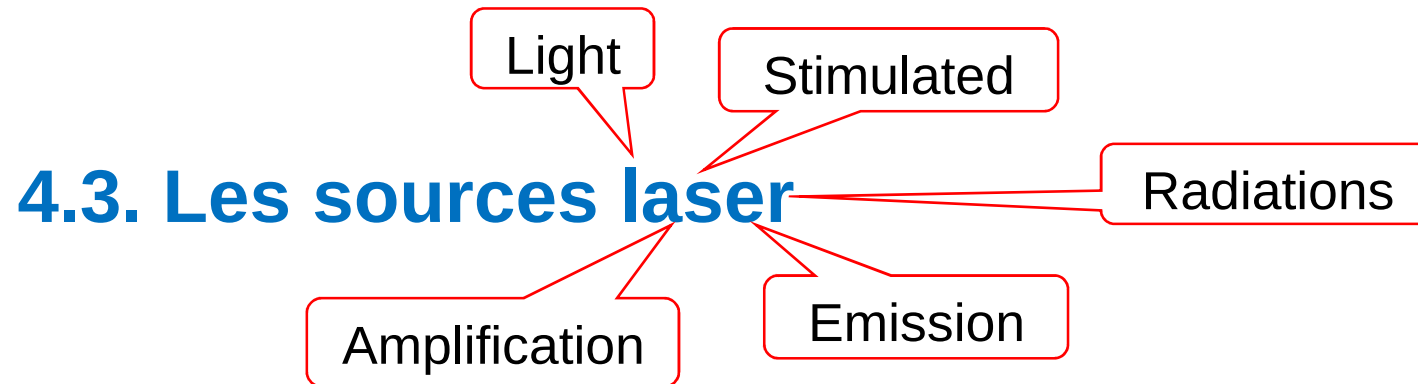
Largeur de raie

4.2. Les sources conventionnelles

- Sources à émission **spontanée**
- τ **faible** (10^{-10} à 10^{-15} s)
- L **faible** (10^{-2} à 10^{-7} m)
- $\Delta\nu$ **grand** (10^{10} à 10^{15} Hz)

Exemples :

- Les lampes à incandescence
- Les lampes spectrales (à gaz)
- Le soleil et les étoiles



- Sources à émission **stimulée**
- τ **grand** (10^{-3} à 10^{-6} s)
- L **grand** (10^5 à 10^2 m)
- $\Delta\nu$ **faible** (10^3 à 10^6 Hz)

5. Les récepteurs quadratiques

- Sensibles au carré de l'amplitude du champ électrique
- Temps de réponse t_r très supérieur à la période T

t_r de l'ordre de 0.1 s pour l'œil humain

t_r de l'ordre de 10^{-3} s pour une plaque photographique

T est de l'ordre de 10^{-15} s



Pas possible de détecter $I(t)$ mais on détecte sa valeur moyenne dans le temps